


URL: http://www.redibec.org/IVO/REV19_03.pdf
García y Vázquez 2012. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica Vol. 19: 29-41

# Valoración económico-ecológica de la pérdida de nutrientes básicos de los suelos santafesinos

**Graciela García Mirta**

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales/UNLP

mirgarcia@agro.unlp.edu.ar

**Elena Vázquez Mabel**

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales/UNLP

mvazquez@agro.unlp.edu.ar

Fecha de recepción: 18/07/2012. Fecha de aceptación: 15/10/2012

## Resumen

La provincia de Santa Fe presenta un creciente problema de acidificación de los suelos ocasionado, en parte, por la exportación de nutrientes básicos a través de las cosechas agropecuarias. El objetivo fue evaluar el impacto de la evolución de la agricultura en la pérdida de nutrientes básicos de los suelos de los distintos departamentos y el potencial costo de su remediación. Se consideró la producción de soja, maíz, trigo y girasol (período 1971/2010). Se calculó la exportación total de bases a través de estos granos y se cuantificó el valor de la producción total de soja para el período (promedio precios corrientes FOB, mayo-junio 2007/10). Se calculó el costo de reposición de las bases extraídas mediante la aplicación de dolomita/KCl. El incremento en la producción de 2001/2010 respecto 1971/80 fue de 1.178 % para la soja, 13 % para maíz, 40 % para trigo y 75% para girasol. La exportación total de bases fue de 619, 1.190 y 4.197 miles de t para Ca, Mg y K, respectivamente, siendo los departamentos más afectados Gral. López, Caseros, Iriondo y Constitución. Se necesitaría el 9,7% de la producción de soja del período considerado para remediar este impacto que afecta la sostenibilidad del sistema agrícola santafesino y atenta contra la seguridad alimentaria en términos de mediano-largo plazo.

**Palabras clave:** Calcio, magnesio, potasio, soja, remediación

## Abstract

The Santa Fe province presents an increasing problem of soil acidification caused in part by the export of basic nutrients through agriculture harvests. The aims was to assess the impact of the development of agriculture in the loss of these nutrients and the potential cost of remediation. The production of soybeans, corn, wheat and sunflower (period 1971/2010) was considered. The total export base were calculated through these grains productions by different province department and quantified total production value of soybeans for the period (average FOB current prices, may-june 2007/10). The replacement cost of the bases extracted was estimated through dolomite / KCl. An increase in the production was shown between 2001-2010 and 1971/80 of 1.178 % for soy, 13 % for maize, 40% for wheat and 75% for sunflower. The total bases export was 619; 1.190; 4.197 thousand t for Ca, Mg and K, respectively. The most affected departments were General Lopez, Caseros, Iriondo and Constitucion. 9.7 % of the production of soy for the period 1971-2010 would be needed to remedy this impact that affects the sustainability of the farming system of Santa Fe and threatens food security in terms of medium-long term.

**Key words**: Calcium, magnesium, potassium, soybean, remediation

**Jel Codes**: R1, Q3, Q5.



## 1. Introducción

La Región Pampeana con 48 millones de hectáreas concentra más del 80% de la producción agropecuaria argentina. Varios investigadores han comprobado el empobrecimiento progresivo del contenido de nutrientes de los suelos de dicha región, entre otros procesos de degradación edáfica y ambiental (Cruzate y Casas 2009; Vázquez 2007, 2010, 2011). Flores y Sarandón (2003) calcularon para esta región una pérdida de 23 millones de toneladas (Mt) de los nutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) para el período 1970-1999, responsabilizando a la soja del 45,6 % de dicha pérdida. Este proceso no solamente se ha dado en la región templada argentina, sino también en el Oriente de Bolivia, los Cerrados de Brasil o los estados del Este Paraguayo, en cada caso con connotaciones propias de cada región y país, en un contexto global de precios internacionales, pautas de consumo, orden mundial y subsidios, entre otros factores (Pengue 2006). En este marco de situación, los suelos se encuentran en un continuo proceso de pérdida de fertilidad física y química (Veneciano y Frigerio 2002; Casas 2003; Berardo 2004; Cruzate y Casas 2009; Galantini 2009; Pengue 2010a).

El contenido edáfico de nutrientes básicos, entre ellos, calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), responde, fundamentalmente, al aporte de estos elementos a través de los materiales originales que permitieron el desarrollo de cada suelo. Estos contenidos iniciales carecen de reposiciones naturales posteriores de magnitudes considerables, a menos que se produzcan sedimentaciones, fenómenos limitados arealmente en la mayor parte de las situaciones productivas donde se controle la erosión, o ascenso de napas salobres en situaciones de inundación. Las cosechas agropecuarias y la lixiviación natural, son las principales causas de la pérdida edáfica de estos elementos. Este último proceso es cuantitativamente menor en ambientes templados con precipitaciones medias, respecto de las pérdidas que ocurren en zonas con climas tropicales, donde la temperatura propicia la meteorización de los minerales y la precipitación elevada provoca alta lixiviación de estos elementos hacia napas de agua y luego la red hidrológica en su conjunto (Irurtia 2004; Vázquez 2010, 2011).

La provincia de Santa Fe forma parte de 2 regiones geográficas, la Chaqueña en su mitad N y la Llanura Pampeana, al sur del río Salado. En ambas regiones, durante las últimas décadas, se produjo un proceso de transformación de planteos mixtos a una agricultura intensiva, actualmente con cerca de 5 millones de hectáreas de las casi 13,3 millones totales (MINAGRI 2011). A ello se sumó el reemplazo de cultivos tradicionales como el maíz por otros como la soja, de alto consumo de nutrientes básicos, el empleo de germoplasmas de alto rendimiento y el sostenido e importante aumento de la fertilización nitrogenada, fundamentalmente a base de urea (Berardo 2004). Estos factores, en su conjunto, promueven la acidificación de los suelos, la cual, resumidamente, es causada por la exportación de bases y el aporte de fuentes de acidez, como los fertilizantes nitrogenados, fundamentalmente los que contienen amonio o pueden producirlo en su hidrólisis, tal el caso de la urea ampliamente difundida en la provincia y en el país. Como consecuencia de ello se producen carencias y desequilibrio de los nutrientes perdidos, la aparición de toxicidad alumínica, la alteración de propiedades físicas y microbiológicas de interés agronómico, como por ejemplo la fijación biológica de N y la actividad micorrícica que colabora en la nutrición fosforada de las plantas. La historia productiva de la mayor parte del área templada argentina se caracterizó mayoritariamente por planteos sin reposición de nutrientes (Vázquez 2011). Este proceder se opone al concepto de desarrollo sostenible (IUCN 2011), pues el mismo conduciría a un empobrecimiento del suelo creciente en estos elementos, agotando el recurso natural y limitando progresivamente los rendimientos, hasta la





situación extrema de impedir el desarrollo vegetal. Algunos antecedentes locales serían prueba de esta limitación regional para la alfalfa y la soja en particular (Vázquez 2010, 2011).

Pengue (2010b) amplía el concepto incluyendo las externalidades negativas que esta "nueva agricultura" genera, siendo la agricultura santafesina un ejemplo de ello. Según el autor mencionado, a este costo de reposición de nutrientes que nadie asume, se suma el costo privado, dando como resultado un costo social, que claramente es la imposibilidad de seguir produciendo alimentos para Argentina y para el mundo al mismo ritmo que en el presente, si no se toman medidas inmediatas, no sólo de balance nutricional de los cultivos, sino también de un cambio de sistemas productivos que conduzcan a la conservación de los recursos naturales y reduzcan sus externalidades. Debe reconocerse que minimizar los perjuicios de la agriculturización, y particularmente, de la sojización, no se limita a saldar un déficit de nutrientes, pues en aras de ello, de no mediar las pautas tecnológicas correctas, pueden aparecer problemas ecológicos secundarios, como la contaminación química, la eutrofización de las aguas y otras problemáticas como la degradación física de los suelos. Paralelamente y en consecuencia, se producen externalidades relacionadas con la salud humana, fruto de las contaminaciones y el importante uso de agroquímicos (Pengue 2006). Este conjunto de daños ambientales son algunos de los constituyentes del pasivo ambiental de un sistema agropecuario que ha crecido al amparo de una legislación ambiental poco estricta a lo largo de la historia argentina. El cálculo monetario del pasivo ambiental, si bien es muy discutible por la complejidad del ecosistema en interrelación con la sociedad, es un lenguaje efectivo para plantear en ámbitos institucionales decisorios de políticas públicas agropecuarias (ODG 2002).

Calcular balances simplificados cuyos términos sean la fertilización/enmienda y la cosecha, puede constituir una herramienta simple para la evaluación de la sostenibilidad y el costo de la remediación, cuando los sistemas productivos se alejan de ella (Sarandón 2002). La posibilidad de controlar los procesos de lixiviación de las bases (Ca, Mg y K) del suelo es muy limitada, de manera que focalizar las pérdidas en la extracción que realiza la producción y sus posibilidades de control y reposición, sería la herramienta más adecuada en la optimización de los balances nutricionales. Tal es el caso de la región bajo estudio y los elementos evaluados. Esta herramienta puede servir de base para delinear estrategias de control de este proceso degradativo en los planteos productivos, las cuales puedan ser arbitradas desde los estamentos de gestión o del propio productor. Sin embargo, debe destacarse que este proceder constituye sólo un paliativo parcial del conjunto de problemáticas ambientales y sociales a que conduce el modelo agroexportador argentino, que de no mediar políticas conservacionistas integrales, aun reponiendo nutrientes, provocará un deterioro irreversible de los sistemas productivos.

Se plantea como hipótesis que la evolución de la producción agrícola de la provincia de Santa Fe de las últimas décadas es una de las principales causas de la pérdida de nutrientes básicos de los suelos, siendo el cultivo de soja uno de sus principales responsables.

El objetivo del trabajo fue evaluar el impacto de la evolución de la agricultura en la pérdida de nutrientes básicos de los suelos de la provincia de Santa Fe y sus distintos departamentos y el potencial costo de su remediación.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Características generales del área de estudio

La Provincia de Santa Fe se extiende entre los 28º y 34 º de Lat.S. y 58º y 62º de Long.

O, en el centro este de la República Argentina (SAGPyA/INTA 1990). La inclusión de la provincia en dos zonas geográficas como la chaqueña al norte y la pampeana al sur, marca dos ambientes climáticos claramente diferenciados. La parte norte, se caracteriza por su temperatura elevada, con promedios de 21º C y precipitaciones entre 800 y 1.100 mm anuales, que disminuyen hacia el oeste. El clima templado pampeano del sur provincial, presenta temperaturas moderadas, que disminuyen de norte a sur por influencia de la latitud, y de oeste a este por influencia del mar, con una media anual de 17º C. Las precipitaciones regulares decrecen del nordeste al sudoeste y su media anual es de 944 mm.

Los suelos dominantes de la provincia son del orden Molisol (58,4%) (Udol, Albol, Acuol, Ustol), Alfisol (22,4%) (Acualf) y Entisol (1,8%) (Fluvent. Psament), con un 17,4% integrado por complejos indiferenciados, área insular, misceláneas y lagunas (SAGPyA/INTA 1990). El Gran Grupo taxonómico de mayor difusión areal son los Argiudoles, presentes en prácticamente todos los departamentos, significando un 35,4% de la superficie provincial. Debido a las bondades climáticas y edáficas de gran parte de su territorio, la principal actividad económica es la agrícola-ganadera. Sin embargo, en toda la región se fue produciendo un aumento de la actividad agrícola en los últimos años, llevando en muchos casos los planteos productivos hacia la agricultura permanente con un incremento sustancial de los rendimientos.

Dentro de los cultivos de mayor difusión areal se encuentran la soja con una producción de más de 10 Mt anuales frente a la producción nacional de cerca de 53 Mt en la campaña 2009/10, el maíz con 4 Mt, el trigo con menos de 1 Mt, y en menor medida, el girasol, apenas con 131.812 t. La actividad ganadera, fundamentalmente bovina, es la cría intensiva en el norte, e invernada intensiva en el centro y sur, y en las islas del Paraná, desarrollada mayoritariamente sobre base de alfalfares y pasturas consociadas con leguminosas, contando con 6 millones de cabezas de ganado bovino en el 2010 (MINAGRI 2011).

La fertilización en general fue muy reducida en el pasado. A partir de la década del 90, con una relación cambiaria más favorable, se incrementó notablemente, cerca del 760% si se comparan las campañas 2011 y 1990. La mayor parte de los fertilizantes utilizados fueron los nitrogenados y en menor medida, los fosforados. Si bien existen estadísticas de uso de fertilizante potásico, la mayor parte del mismo es utilizado en cultivos intensivos, por lo que sus aportes no son considerados en este trabajo.

### 2.2. Cálculo de la extracción física de bases a causa de la producción agrícola

Para realizar el cálculo de la extracción de bases causado por los cultivos de grano más difundidos en la región (maíz, trigo, soja y girasol), se utilizaron estadísticas de producción suministradas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MINAGRI 2011) para el período 1971-2010 (Tabla 1) y la concentración de Ca, Mg y K en los mencionados granos, a partir de datos bibliográficos (Echeverría y García 2007; Melgar y Díaz Zorita 2008; Alvarez et al. 2010) (Tabla 2).

El producto de estas 2 componentes, permitió estimar la cantidad de cada una de las bases extraídas por las cosechas de estos cultivos, así como la extracción general de las mismas. Cabe aclarar, que si bien pueden existir diferencias en las concentraciones de estos elementos en los granos, en respuesta a los contenidos edáficos y características genéticas de los materiales de cultivo, en general, se aceptan concentraciones estándares para cálculos de esta naturaleza a nivel regional, por la magnitud reducida de la variabilidad y sus efectos compensatorios (Sarandón 2002).

### 2.3. Cálculos económicos

Para realizar los diferentes cálculos se emplearon los precios corrientes FOB (mayo-junio 2007/10) de los granos (Free on board, Franco a bordo, es el precio de un bien exportado en el punto de salida del país exportador, cargado en la nave o sobre otros medios de transporte que lo llevarán al país importador) (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2006a).

Los precios de los fertilizantes y las enmiendas son los precios corrientes obtenidos a partir de información suministrada por varias firmas comerciales en 2011, promediados, resultando en un valor de 280 \$ $t^{-1}$ para dolomita, y 2950 \$ $t^{-1}$ para KCl (IVA incluido en ambos casos).

El cálculo del costo de reposición de bases se efectuó multiplicando las bases extraídas por tonelada de grano (Tabla 2) por la producción de granos (Tabla 1) y por el costo de los productos correctores a precio corriente, teniendo en consideración el grado (dolomita: 24 % CaO, 22 % MgO; KCl: 50% K), el costo de aplicación (0,25 UTA $ha^{-1}$, 31,1U\$S $UTA^{-1}$) y el flete (113\$ $t^{-1}$), a un valor de dólar de 4,47 \$ U\$$S^{-1}$(fecha 20/05/12). Se estableció para estos cálculos una dosis promedio de 1 t $ha^{-1}$ de dolomita (Vázquez et al. 2010) y de 150 kg $ha^{-1}$ de KCl. El costo de aplicación y el flete fueron establecidos a partir de datos bibliográficos (Márgenes Agropecuarios, 2011). El criterio utilizado para el cálculo de la necesidad de dolomita se basó en la necesidad de Mg, ya que la exportación de Mg es superior a la de Ca, por lo que calculando la cantidad de dolomita necesaria para reponer el Mg, queda garantizada la reposición de Ca.

## 3. Resultados

Los resultados de la producción de los 4 cultivos para las 4 décadas comprendidas entre 1971 y 2010, se muestran en el Tabla 1. El producto del contenido de las bases (Ca, Mg y K) de los granos, estimados según bibliografía (Tabla 2), por la producción total de los granos (Tabla 1), permitió estimar la cantidad de cada una de las bases extraídas por las cosechas de estos cultivos, así como la extracción general de las mismas (Figuras 1 y 2)

Tabla 1. Producción (t) de los principales cultivos de la provincia de Santa Fe (1971-2010).

| | 1971/80 | 1981/90 | 1991/2000 | 2001/10 | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| maíz | 22.020.000 | 15.584.000 | 21.881.660 | 24.855.650 | 84.341.310 |
| trigo | 12.493.000 | 17.624.000 | 18.961.400 | 17.522.250 | 66.600.650 |
| soja | 7.701.300 | 26.814.000 | 55.814.597 | 98.388.373 | 188.718.270 |
| girasol | 1.438.800 | 2.360.000 | 3.874.760 | 2.514.406 | 10.187.966 |
| Total | 43.653.100 | 62.382.000 | 100.532.417 | 143.280.679 | 349.848.196 |

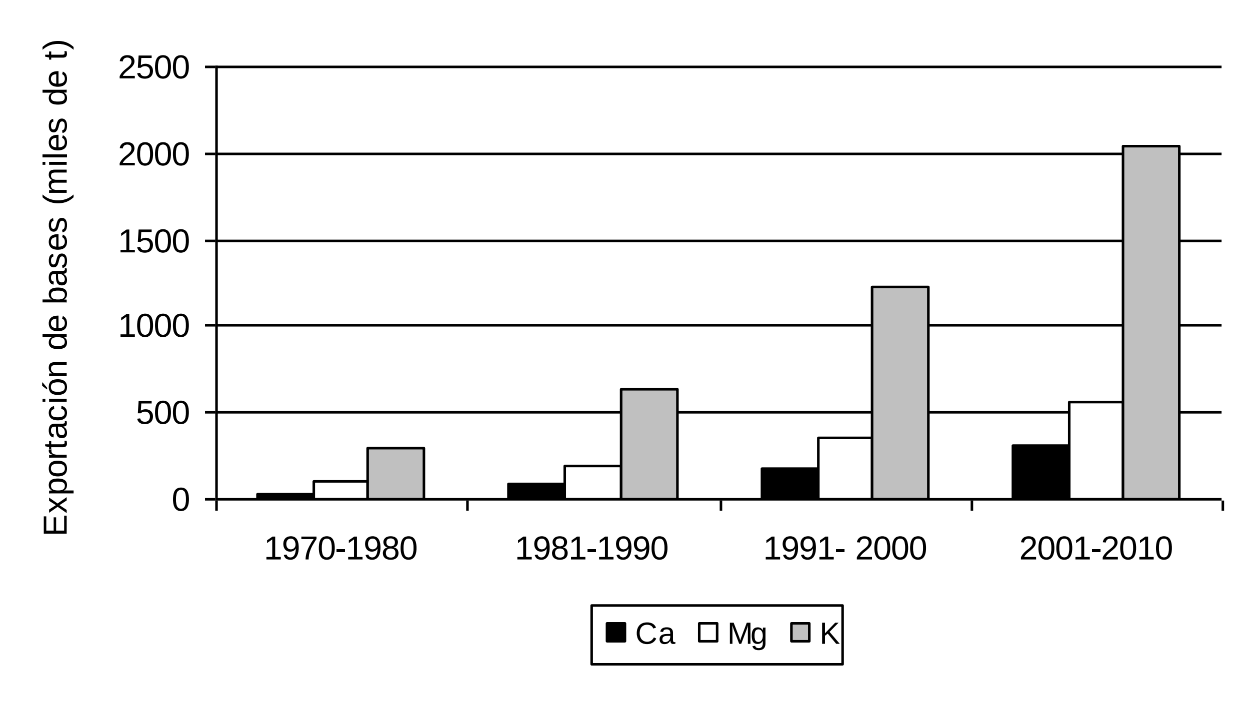
Fuente: elaboración propia sobre la base de datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MINAGRI 2011).

Tabla 2. Concentración de K, Ca y Mg en granos de soja, maíz, trigo y girasol.

| | K | Ca | Mg |
|---|---|---|---|
| | kg de elemento $t^{-1}$ grano | | |
| **maiz** | 4,00 | 0,19 | 1,50 |
| **trigo** | 3,20 | 0,40 | 1,50 |
| **Soja** | 19,00 | 3,00 | 5,00 |
| **girasol** | 6,00 | 1,00 | 2,00 |

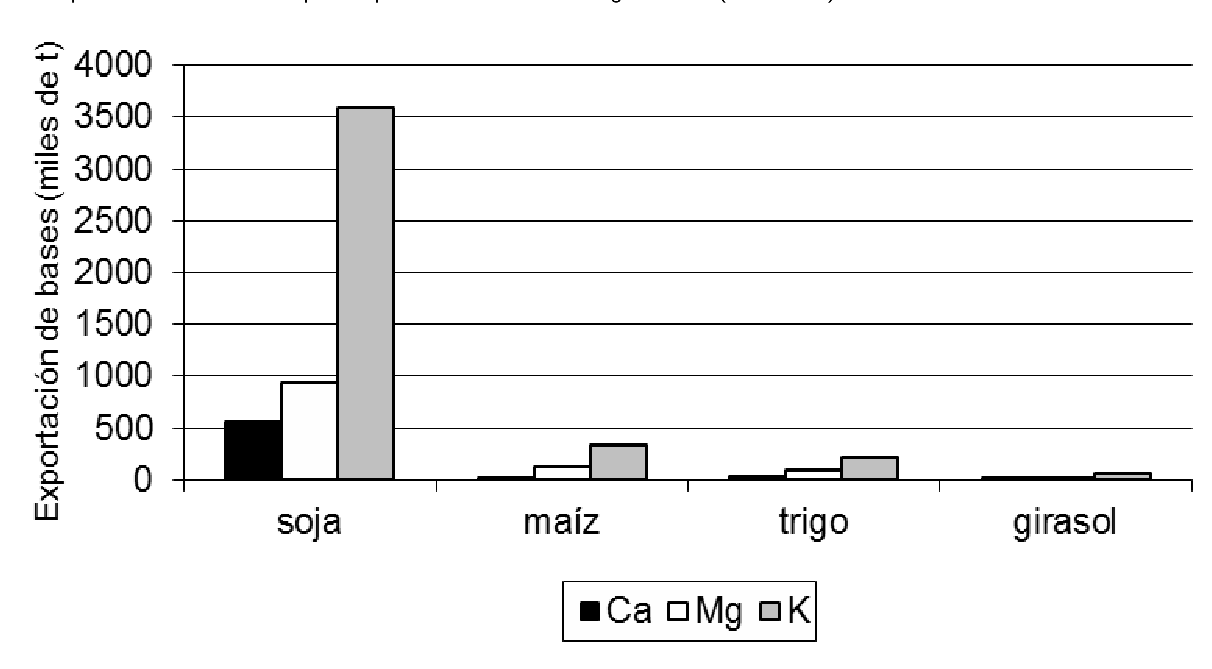
Fuente: datos extraídos de Echeverría y García (2007); Melgar y Díaz Zorita (2008); Álvarez et al (2010)

Figura 1. Exportación de Ca, Mg y K para la provincia de Santa Fe causada por la producción de sus principales cultivos (soja, maíz, trigo, girasol) para las últimas 4 décadas.




Fuente: elaboración propia sobre la base de datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MINAGRI, 2011).

Figura 2. Exportación total de bases para la provincia de Santa Fe según cultivo (1971-2010).




Fuente: elaboración Propia sobre la base de datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MINAGRI 2011).

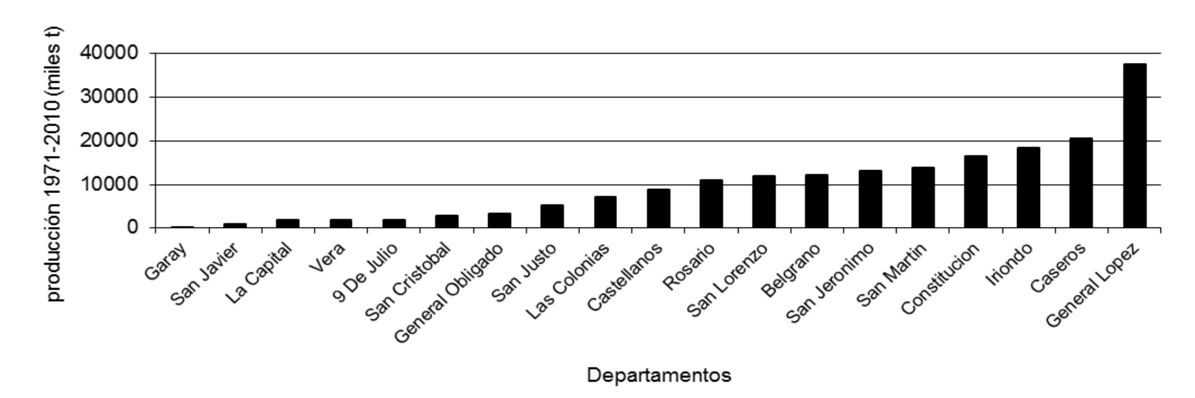
En la Tabla 3 se consigna el costo de la reposición para saldar la pérdida de Ca, Mg y K causada por estos 4 cultivos. Dada la variabilidad de niveles de producción de soja de los distintos departamentos políticos en que se encuentra dividida la provincia, se evaluó a este nivel de desagregación su producción en el período establecido a los fines de identificar los departamentos más afectados (Figura 3). En base a ello se calculó la exportación de las bases a nivel departamental causada por este cultivo (Figuras 4, 5 y 6).

Tabla 3. Costos de la reposición de las bases exportadas por los principales cultivos de la Prov. de Santa Fe (1971/2011).

| Ítem | Costo de Reposición | |
|---|---|---|
| | Ca-Mg | K |
| | ($) | |
| Producto | 2.525.048.956 | 24.765.526.156 |
| Aplicación | 313.414.938 | 1.944.969.352 |
| Flete | 1.019.037.614 | 948.581.267 |
| Total | 3.857.501.508 | 27.659.076.776 |

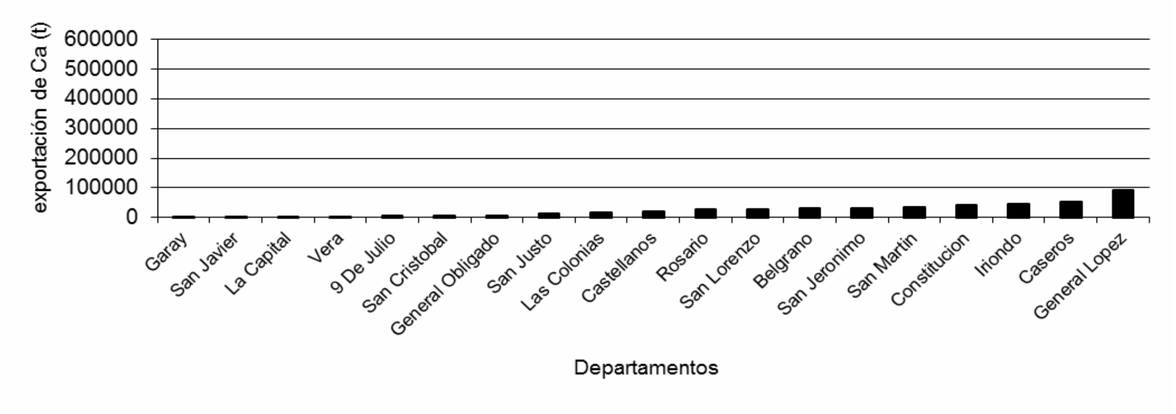
Fuente: elaboración propia sobre la base de datos de firmas comerciales y la revista Márgenes Agropecuarios (2011).

Figura 3. Producción de soja en los distintos departamentos de la provincia de Santa Fe (1971-2010).




Fuente: elaboración propia sobre la base de datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MINAGRI 2011).

Figura 4. Exportación de Ca a nivel departamental producida por el cultivo de soja (1971-2010).




Fuente: elaboración propia sobre la base de datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MINAGRI 2011) y datos bibliográficos (Tabla 2).



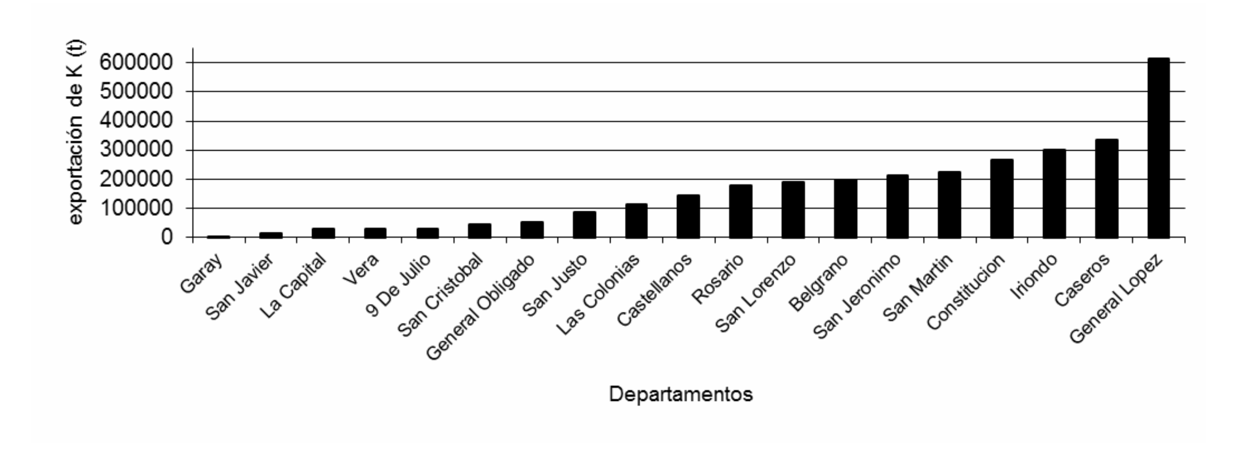


Figura 5. Exportación de Mg a nivel departamental producida por el cultivo de soja (1971-2010).

exportación de Mg (t)
600000
500000
400000
300000
200000
100000
0
Garay
San Javier
La Capital
Vera
9 De Julio
San Cristobal
General Obligado
San Justo
Las Colonias
Castellanos
Rosario
San Lorenzo
Belgrano
San Jeronimo
San Martin
Constitucion
Iriondo
Caseros
General Lopez
Departamentos

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MINAGRI 2011) y datos bibliográficos (Tabla 2).

Figura 6. Exportación de K a nivel departamental producida por el cultivo de soja (1971-2010).




Fuente: elaboración propia sobre la base de datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MINAGRI 2011) y datos bibliográficos (Tabla 2).

Como fuera desarrollado en el capítulo precedente, utilizando el promedio de precios corrientes FOB (mayo-junio 2007/10) de la soja se calculó el ingreso que ha tenido el país en el periodo considerado (1971/2010). Para ello se multiplicó la producción total de soja del período (Tabla 1) (188.718.270 t) por un precio de 1.721,60 \$ $t^{-1}$ de soja, dando un total de 324.890.697.723 \$. Esta cifra se comparó con el costo de la reposición de los 3 elementos según figura en la Tabla 3.

.





El costo del pasivo ambiental provocado por la exportación de bases se calculó a través de la expresión porcentual de los totales calculados en Tabla 3 respecto del ingreso producido por la exportación de soja para el período evaluado, arrojando una cifra de 9,7 %

## 4. Discusión

A partir de la década del 70, los suelos de la Región Pampeana comienzan a sufrir una extraordinaria presión, fruto de la transformación de la actividad agrícola generada por la adopción de tecnología moderna, la concentración económica y el aumento de la escala, nuevas formas organizativas y una fuerte orientación y dependencia del mercado exportador (Pengue 2010a). La agricultura santafesina no fue ajena a esta evolución, como puede apreciarse en la Tabla 1. Registró un importante aumento productivo en el período considerado, pasando de aproximadamente 44 Mt para el decenio 1971-80 a 143 Mt durante la década 2001/10, es decir, más que triplicando la cifra. Por otro lado, mientras la producción maicera prácticamente se mantuvo estable, la triguera aumentó un 40,3 %, la de girasol un 74,8% y la sojera un 1.177,6%. Según las estadísticas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (2011), esto se produjo a expensas no sólo del aumento de rendimiento por unidad de superficie, sino, especialmente, por un incremento del área sembrada (INDEC 2010).

El aumento de la producción y la modificación de las proporciones de cada cultivo (Tabla 1), trajo como consecuencia un aumento progresivo en la exportación total de las bases, Ca, Mg y K, como se aprecia en la Figura 1 y señala al cultivo de soja, como su principal responsable, según se observa en la Figura 2.

Pengue (2010b) denomina “suelo virtual” al constituido por los nutrientes exportados en los productos agropecuarios, haciendo alusión a la no materialidad de estos componentes edáficos tras el proceso de agriculturización. En dicho proceso, guiado por lineamientos económicos más que sociales, es tácito calificar al suelo como un recurso renovable, que bajo ciertas condiciones, puede ser gestionado y por lo tanto explotado a perpetuidad, sin reconocer que tal calificativo está relacionado con escalas de tiempo que exceden la vida humana, particularmente, en las condiciones de explotación actuales (Pengue 2006, 2009).

En las Figuras 3, 4, 5 y 6 se observa que la provincia posee una amplia variabilidad de producción sojera y por lo tanto de exportación de nutrientes, ubicando a los Departamentos de Garay y General López en los 2 extremos de la secuencia, ordenados de menor a mayor nivel de producción. Los Departamentos de Constitución, Iriondo, Caseros y Gral. López, son los más afectados por el proceso.

Cordone (2012) calculó la cantidad equivalente en fertilizantes para reponer la exportación de nutrientes que significa un barco con 40.000 t de granos. Esa cifra asciende a 8.735 t de fertilizantes, sin contar los perjuicios ambientales que significa la degradación de las propiedades físicas del suelo, producto de la sojizacion del sistema productivo argentino.

Diferentes investigadores del mundo han encontrado situaciones comparables. Sánchez y Palm (1996) y Samiling (1993) adjudican a la inmensa extracción de nutrientes de África sin reposición, como la causa biofísica principal de la disminución per cápita de alimentos de este continente, dimensionando la gravedad de estos sucesos.

Según la Evaluación Global de la Degradación del Suelo (Oldeman et al 1991), las tierras degradadas representan 1965 millones de hectáreas en todo el mundo, cualquiera sea el tipo de ocupación. Argentina no escapa a la generalidad. Cruzate y Casas (2009) afirman que el suelo agrícola configura el soporte más sólido de la

economía de nuestro país y conservarlo se torna imprescindible para garantizar el bienestar de todos los habitantes de la Nación. Las rotaciones agrícola-ganaderas y dentro del período agrícola, de cultivos, junto con estrategias conservacionistas como la siembra directa, no sólo reducen el deterioro de los suelos, sino que son una herramienta que permite aumentar el nivel de producción, conforme fue demostrado por numerosos investigadores nacionales (Berardo 2004; INTA (EEA Paraná) 2011).

En la Tabla 3 se consigna el costo de reposición de las bases extraídas por la soja en dicho período, de manera de dar una dimensión cuantitativa al pasivo ambiental producido solamente por estos tres nutrientes (Ca, Mg y K). La magnitud de las cifras ilustra la gravedad de la situación. Subsanar la degradación producida en el recurso natural suelo implicaría destinar el 9,7 % de la producción de soja de las 4 décadas analizadas, para reponer la exportación que este cultivo ha causado sólo de estos 3 elementos en la provincia de Santa Fe. Este valor es superior al encontrado por Gelati y Vázquez (2008) para los partidos del N de la provincia de Buenos Aires, cercano al 6%.

A pesar de la evidencia de estos hechos, Argentina continúa, tanto a nivel de gestión pública como de asociaciones de productores y de los propios productores, en planteos no repositivos de la mayor parte de los nutrientes, entre ellos, las bases analizadas en este trabajo. Nuestro país posee yacimientos de dolomita y caliza, e importa la totalidad de los fertilizantes potásicos. Cualquiera sea el origen de estas materias primas, se trata de yacimientos mineros finitos, por los cuales habrá gran competencia en un futuro no muy lejano. La situación argentina es comparable con la de otros países de América Latina, que sobre la base de concepciones equivocadas sobre la potencialidad de los suelos, llevaron a la sobreexplotación de los mismos, o aún, conociendo estas limitaciones, lograron imponer modelos de alta renta (Pengue 2010a), poniendo en peligro la seguridad alimentaria de sus habitantes (FAO 2006a). Paralelamente, gran parte de Asia y África estarían en situaciones comparables. De manera que es previsible que el juego de una oferta en disminución y una demanda en aumento, conduzca al incremento de los precios de estas materias primas, por lo que los cálculos que se hagan pueden quedar subdimensionados en el futuro.

Un caso emblemático en este sentido lo constituye China. Hasta principios de la década del 60, este país producía 147 Mt de cereales, frente, por ejemplo, a la de los EEUU de 164 Mt, y su fertilización estaba constituida básicamente por abonos orgánicos. La proyección de su crecimiento poblacional permitía prever la imposibilidad de saldar la demanda alimentaria con este nivel de producción (Borlaug y Enkerlin Hoeflich 1997). A partir de esa fecha, el gobierno emprendió un agresivo programa de pequeñas fábricas de fertilizantes. Para 1992, según estos mismos autores, China producía 400 Mt de cereales frente a los 353 Mt de los EEUU, constituyéndose para fines del siglo pasado en el mayor productor, importador y consumidor de fertilizante nitrogenado, ocupando el segundo lugar para los fosforados.

Dentro del enfoque de este análisis, Trossero et al. (2012) proyectaron la evolución del carbono orgánico del suelo (COS) (período 2010-2020), para el centro-sur de la provincia de Santa Fe y valoraron su impacto económico-social. La pérdida acumulada de esos 10 años sería de 3,06 t COS $ha^{-1}$ y la pérdida económica total de la producción primaria, agroindustrial y del Estado, sería de 248,69 U$S $ha^{-1}$. La menor recaudación del Estado en concepto de derechos de exportación causados por esta degradación, equivale a la construcción de 23 km de autopista, 1.753 viviendas ó 103 escuelas, considerando solamente la superficie analizada, la cual representa menos del 3% del área nacional con cultivos extensivos. Es por ello, que puede afirmarse que Argentina está saldando, en gran medida, la deuda externa, con un modelo agroexportador centrado en el cultivo de soja.

Los países importadores de los productos agrícolas nacionales, alentados por los bajos

precios de los productos primarios de Latinoamérica, acumulan una deuda ecológica con la Argentina, pues en los costos establecidos no se valoraron los daños ambientales producidos. Dentro de estos daños deberían incluirse la extracción de nutrientes edáficos, la pérdida de fertilidad física y la contaminación provocada por los residuos de los propios fertilizantes, pero en particular, de los plaguicidas y herbicidas. Es por ello que Martínez Alier (2003) comparando la deuda externa de los países del Sur con la deuda ecológica de los países del Norte se pregunta ¿Quién debe a quién?

Los modelos de crecimiento económico de los países agroexportadores, como el de Argentina, no garantizan el progreso de las naciones. El Programa para el desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD 2011) señala que el proceso de crecimiento debe ser inclusivo y equitativo para maximizar la reducción de la pobreza. Pero, particularmente, destaca que el desarrollo humano es crecimiento económico equitativo y sostenible. Es por esta razón que los países necesitan políticas macroeconómicas innovadoras que apoyen un crecimiento general estable. FAO (2006b) señala como uno de los principios básicos que sostienen las estrategias de la seguridad alimentaria a largo plazo, el promover el crecimiento agrícola y rural sostenible, fomentando el desarrollo ambiental y social como piedra angular del crecimiento económico. Difícilmente se conseguirá esta estabilidad en planteos productivos no sustentables como el que acontece en el sector agropecuario argentino, particularmente, el santafesino. La valoración económica que se realiza en este trabajo, si bien es incompleta, porque abarca solamente los nutrientes básicos y no cuantifica las externalidades ambientales y sociales, puede constituir una herramienta útil para la concientización de la problemática, de manera de incidir en las políticas agropecuarias y ambientales del país. En el ámbito institucional la cuantificación monetaria es un lenguaje más efectivo de visualización del problema y hasta puede ser útil en un contexto judicial, porque, en el derecho civil de varios países, un daño es punible si es cuantificable y, las reparaciones se conciben muchas veces en términos monetarios (ODG 2002).

## 5. Conclusiones

- La provincia de Santa Fe aumentó la producción total de los cultivos de soja, maíz, trigo y girasol en las 4 décadas comprendidas entre 1970 y 2010, de 47 a 143 millones de toneladas. Dicho incremento se basó en el aumento de rendimiento y fundamentalmente del área sembrada

- El incremento en la producción ha sido generalizado para los 4 cultivos extensivos dominantes, destacándose la preponderancia del cultivo de soja para el período considerado

- La exportación total a través de estos granos fue de 619,0; 1.190,4 y 4.197,3 Mt para Ca, Mg y K, respectivamente

- Los departamentos más afectados fueron Gral. López, Caseros, Iriondo y Constitución

- Utilizando el promedio de precios corrientes FOB (mayo-junio 2007/10) de soja, los costos de dolomita/KCl, su aplicación y flete a valores promedio de 2011, se necesitaría el 9,7 % de la producción de soja de las 4 décadas a valor actual, para reponer la exportación que este cultivo ha causado de estos 3 nutrientes

-Esta cuantificación monetaria de la exportación de bases de los suelos santafesinos pasan a formar parte del pasivo ambiental que los países receptores de los granos exportados deberían reconocer como deuda ecológica con la Argentina

- La prácticamente ausente reposición en el pasado, sus implicancias económicas, productivas, ecológicas y sociales, señalan claramente el perjuicio de la evolución de la agricultura de la provincia de Santa Fe sobre la sostenibilidad de estos sistemas y atenta contra la seguridad alimentaria de la población en términos de mediano-largo plazo.

## REFERENCIAS.

Álvarez, R.; Rubio G.; Álvarez C. y R. Lavado. 2010. Fertilidad del suelo. Diagnóstico y manejo en la Región Pampeana. FAUBA. Buenos Aires.

Berardo, A. 2004. Manejo de la fertilización en una agricultura sustentable. Argentina. Informaciones Agronómicas. Nº 23: 23-28.

Borlaug, N.E. y E.C. Enkerlin Hoeflich. 1997. Agricultura y Alimentación, en Ciencia Ambiental y desarrollo sostenible. Enkerlin, Cano, Garza y Vogel. (eds). México.

Casas, R. 2003. Sustentabilidad de la agricultura de la Región Pampeana.

Cordone, G. 2012. Costo oculto social y privado del sistema productivo: la degradación del suelo pampeano. http://www.lanacion.com.ar/1488301-incidencia de los costos ambientales. Consultado el 7/07/2012.

Cruzate, G. y R. Casas 2009. Extracción de nutrientes en la agricultura argentina. Argentina. Informaciones agronómicas del Cono Sur Nº 44 (diciembre): 21-26.

Echeverría, H. y F. García. 2007. Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.1º Ed. 2º Reimp. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (eds.). Argentina.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006a. Seguridad alimentaria. Informe de políticas. Junio 2006. Número 2. ftp://ftp.fao.org/es/esa/policybriefs/pb_02_es.pdf. Consultado 26/10.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006b. http://www.fao.org/docrep/003/x7352s/X7352s03.htm. Consultado 15-06-2007.

Flores, C.C. y S. Sarandón. 2003. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de agriculturización en la Región Pampeana Argentina, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. Vol. 105 (1): 52-67.

Galantini, J. 2009. Sistemas productivos sustentables: fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura, en Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables: fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía Blanca, Argentina.

Gelati, P. y M. Vázquez. 2008. Extracción agrícola de bases en el N de la provincia de Buenos Aires, Argentina: costo de su remediación e implicancias económicas, Argentina. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica Vol. 7:117-129.

INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2010. Censo Nacional Agropecuario - CNA 2010. http://www.indec.gov.ar. Consultado el 16/6/2011.

INTA (EEA Paraná). 2011. Vida para nuestra tierra. http://profertilnutrientes.com.ar/noticia_ampliadanov.asp?id=168. Consultada el 15/6/11.

Irurtia, C. 2004. Aspectos relacionados a la dinámica del calcio en suelos agrícolas de la Región Pampeana, en Actas Primera Jornada Nacional El Calcio y el Magnesio en la Producción Agropecuaria. La Plata. Versión electrónica.

IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2011. Desarrollo sostenible. http://www.iucn.org/es/busqueda.cfm?uSearchTerm=. Consultado el 13/6.

Márgenes Agropecuarios. 2011. N°2. Ed. Márgenes Agropecuarios S.R.L., Buenos Aires, Argentina.

Martínez Alier, J. y A. Oliveras. 2003. ¿Quién debe a quién? Deuda ecológica y Deuda Externa. Icaria. Barcelona, España.

Melgar, R. y M. Díaz Zorita. 2008. Fertilización de cultivos y pasturas. 2º Ed. Ed. INTA.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina). 2011. Estimaciones y estadísticas. http://www.siia.gov.ar/. Consultado el 14/30/5.

ODG (Observatorio de la Deuda en la Globalización). 2002. El pasivo ambiental. Colectivo para la difusión de la Deuda Ecológica. http://www.observatoriodeuda.org/. Consultado 26/10.

Oldeman, L.; Hakkeling R. y W. Sombroek. 1991. Word Map of de statusof human-induced soil degradation, and explanatory notes, Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD), ISRIC, Wageningen, Netherlands.

Pengue, W. A. 2006. Sobreexplotación de recursos naturales y mercado agroexportador. Hacia la determinación de la deuda ecológica con la Pampa argentina. Córdoba. España. Tesis Doctoral.

Pengue, W. A. 2009. Fundamentos de Economía Ecológica. Ed. Kaicron. Buenos Aires.

Pengue, W. A. 2010a. Modelo agroexportador, monoproducción y deuda ecológica: hacia el agotamiento del "granero del mundo". www.inti.gov.ar/bicentenario/pdf/cuadernillo-debate4.pdf. Consultado el 20/6/2011.

Pengue, W. A. 2010b. Suelo virtual y comercio internacional. Realidad Económica 250. Instituto Argentino para el Desarrollo Económico. Buenos Aires.

PNUD (Programa para el desarrollo de las Naciones Unidas). 2011. Los Objetivos de Desarrollo del Milenio deben cumplirse. http://www.beta.undp.org/undp/es/home.html. Consultado el 3/6.

SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina)-INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1990. Atlas de suelos de la República Argentina. Proyecto PNUD Arg. 85/019.

Samiling, E. 1993. An agroecological Framework for integrating nutrient Management, with special referente





to Kenya. Tesis. Agricultural University, Wageningen, Paises Bajos.

Sánchez P.A., Palm C.A. 1996. Reciclaje de nutrientes y agrosilvicultura en África. FAO 47: 24-28.

Sarandón, S. J. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En: Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. Ed. Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina.

Trossero, M.; Cordone G. y L. Donnet. 2012. ¿Cuánto vale la pérdida de carbono orgánico del suelo? En Actas del XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso argentino de la Ciencia del suelo. Mar del Plata, Argentina.

Vázquez, M. 2007. Calcio y Magnesio. Acidez y alcalinidad del suelo. En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Echeverría H. y García F (eds.). Reimp. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.1º Ed. 2º reimpresión. Vázquez, M. 2010. Calcio y magnesio del suelo. Dinámica en el suelo. Diagnóstico y fertilización, en Fertilidad del suelo. Diagnóstico y manejo en la Región Pampeana. Rubio G., Álvarez R., C. Álvarez y R. Lavado (eds). FAUBA. Buenos Aires.

Vázquez, M.; Terminiello A.; Casciani A.; Millán G.; Gelati P.; Guilino F.; García Díaz J.; Kostiria J. y M. García. 2010. Evaluación del efecto de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (Medicago sativa l.)y propiedades edáficas en ámbitos templados argentinos. Ciencia del Suelo. Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo Vol. 28 (2):131-140.

Vázquez, M. E. 2011. Causas de la acidificación en el ámbito templado argentino, consecuencias y avances para su diagnóstico, en Simposio Fertilidad 2011. IPNI (International Plant Nutrition Institute) y Fertilizar Asoc. Civil. .Argentina. Actas: 13-29.

Veneciano, J. H. y K. L. Frigerio. 2002. Macronutrientes primarios exportados por los agroecosistemas extensivos. Información Técnica Nº 160, EEA San Luis INTA, Villa Mercedes.